

**SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE LOS SISTEMAS DE
ALUMBRADO PÚBLICO BASADO EN MÚLTIPLES CRITERIOS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE LOS SISTEMAS DE
ALUMBRADO PÚBLICO BASADO EN MÚLTIPLES CRITERIOS**

**AUTOR:
JUAN BRAULIO CÓNDOR PIARPUEZÁN**

**TUTOR:
ALEXANDER ÁGUILA TÉLLEZ**

Quito, Septiembre 2018

Juan Braulio Cóndor Piarpuezán

**SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE LOS SISTEMAS DE
ALUMBRADO PÚBLICO BASADO EN MÚLTIPLES CRITERIOS**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito - Ecuador
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Juan Braulio Cóndor Piarpuezán (Y'1975-M'03). Realizó su estudio secundario en el Instituto Superior "Central Técnico", se graduó de Bachiller Técnico en la especialidad de Mecánica Industrial. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su estudio se basa en, la selección y dimensionamiento óptimo de los sistemas de alumbrado público basado en múltiples criterios.

jcondorp@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Alexander Águila Téllez (Y'1981-M'09). Recibió el título de Ingeniero Eléctrico y el Master en Eficiencia Energética en los años 2005 y 2010 respectivamente. Actualmente se encuentra estudiando para obtener su título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia-Medellín, es miembro del Grupo de Investigación GIREI. Sus principales intereses de investigación incluye la compensación VOLT-VAR en redes de distribución eléctrica, redes inteligentes, minimización de pérdidas de energía, las energías renovables y la eficiencia energética. Es profesor investigador de la Universidad Politécnica Salesiana-Ecuador.

aaguila@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2018 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Alexander Águila Téllez declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*Selección y Dimensionamiento Óptimo de los Sistemas de Alumbrado Público Basado en Múltiples Criterio*” realizado por Juan Braulio Cóndor Piarpuezán, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre 2018.



.....

Alexander Águila Téllez

Cédula de identidad: 1755983184

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Juan Braulio Córdor Piarpuezán, con documento de identificación N° 1713314183, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “*Selección y Dimensionamiento Óptimo de los Sistemas de Alumbrado Público Basado en Múltiples Criterios*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....

Nombre: Juan Braulio Córdor Piarpuezán

Cédula: 1713314183

Fecha: Quito, Septiembre 2018.

1. ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	1
Abstract.....	1
1. Introducción.....	2
2. Estado Del Arte.....	3
2.1. Alumbrado Público.....	4
2.2. Tipos de Lámparas y Luminarias empleadas en el Alumbrado Público.....	4
2.2.1. Lámparas.....	4
2.2.2. Luminarias.....	4
2.3. Análisis Comparativo de Eficiencia y Costos por Tipo de Luminaria.....	5
2.4. Descripción de los Métodos de Optimización para Alumbrado Público.....	5
2.5. Métodos de Cálculo para el Alumbrado Público.....	6
2.5.1. Método de Lúmenes o Factor de Utilización.....	6
2.5.2. Método del Flujo Luminoso.....	6
2.5.3. Método del Número de Luminarias.....	7
2.5.4. Método de los 9 Puntos.....	7
2.6. Análisis de Software utilizados para la Optimización del Alumbrado Público.....	7
2.6.1. Software Matlab.....	7
2.6.2. Análisis de Datos.....	8
2.6.3. Comprobación de Resultados.....	8
2.7. Métricas de la revisión bibliográfica en Alumbrado Público.....	8
2.7.1. Software Utilizados para la Optimización del Alumbrado Público.....	8
2.7.2. Función Objetivo empleado en el Alumbrado Público.....	9
2.7.3. Lámparas Utilizadas en el Alumbrado Público.....	9
2.7.4. Técnicas Matemáticas Utilizadas en el Alumbrado Público.....	10
3. Técnica Matemática.....	10
3.1 Descripción Teórica.....	10
3.2. Algoritmo.....	11
4. Caso de Estudio.....	12
4.1. Tipos de Disposición del Alumbrado Público.....	13
4.1.1. Disposición Unilateral.....	13
4.1.2. Disposición Pareada.....	13
4.1.4. Disposición Central.....	13
5. Análisis de Resultados.....	13

5.1. Escenario I.	14
5.2. Escenario II.	15
5.3. Escenario III.	15
5.4. Escenario IV.	16
5.5 Resultados de Luminarias.	16
6. Conclusiones.	17
7. Referencias.	17

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Alumbrado Público	3
Figura 2. Determinación del coeficiente de Utilización	6
Figura 3. Método de los 9 Puntos [29].	7
Figura 4. Software utilizados en alumbrado público	8
Figura 5. Funcion objetivo para el alumbrado público	9
Figura 6. Lámparas utilizadas en el alumbrado público	9
Figura 7. Técnicas matemáticas para el alumbrado público	10
Figura 8. Zona del caso de estudio	12
Figura 9. Disposición Unilateral	13
Figura 10. Disposición Pareada	13
Figura 11. Disposición Tresbolillo	13
Figura 12. Disposición Central	13
Figura 13. Disposición tres bolillos - vía tipo A.....	14
Figura 14. Disposición Tres Bolillos - vía tipo B	15
Figura 15. Disposición Tres Bolillos - vía tipo C	15
Figura 16. Disposición Tres Bolillos - vía tipo D.....	16

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de lámparas y Tiempo de servicio	4
Tabla 2. Eficiencia y costo de lámparas de alumbrado público.....	5
Tabla 3. Nivel de Iluminancia según tipo de vía	6
Tabla 4. Flujo de Lámparas	7
Tabla 5. Simbología de tipos de tecnologías	14
Tabla 6. Resultados de cálculo de costos de luminarias.....	16

SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO BASADO EN MÚLTIPLES CRITERIOS

Resumen.

En este documento se propone un algoritmo de optimización, el cual permite elevar la eficiencia energética y reducir los costos de un sistema, que sea capaz de calcular el alumbrado público óptimo para una determinada calzada o zona de estudio.

El algoritmo es desarrollado en un entorno Matlab, el cual emplea la programación lineal entera mixta, la misma que analiza la tecnología óptima, costo de energía, tipo de calzada, altura, y distancias entre postes, en función del tiempo de vida útil del proyecto o zona de estudio.

Los resultados obtenidos por el algoritmo nos proporcionan, el escenario óptimo de disposición y tipo de las luminarias a utilizar en el alumbrado público.

Con este estudio se pretende que las empresas eléctricas, incorporen a su sistema este algoritmo de optimización, y tomen la mejor decisión en relación a los costos mínimos, y eficiencia energética de las tecnologías de iluminación empleadas en el alumbrado público.

Palabras Claves. - Optimización, tecnología, costos, eficiencia energética, calzada, vida útil, luminarias, alumbrado público.

Abstract.

This document proposes an optimization algorithm, which allows you to raise energy efficiency and reduce the costs of a system that is capable of calculating the optimum lighting for a particular road or area of study. The algorithm is developed in a Matlab, which employs the mixed integer linear programming, which analyzes optimal technology, energy cost, type of road, height, and distances between poles, depending on the time of life of the project or area of study. The results obtained by the algorithm provide us, the optimal stage of provision and type of lights used in street lighting. This study is intended to electric companies, incorporated into their system this optimization algorithm, and take the best decision in relation to the minimum costs, energy efficiency, lighting technologies used in street lighting.

Keywords. - Optimization, technology, costs, energy efficiency, roadway, lifetime, lighting public.

1. Introducción.

Con el transcurso del tiempo, el ser humano desarrollo diversas formas de crear la luz, ya sea de forma natural o artificial. Fue entonces que Thomas Alba Edison, en 1879 creo la primera lámpara incandescente con filamento de carbono de larga duración, desde ese instante se la empleo en el alumbrado público siendo el invento más utilizado desde su creación hasta nuestros días.

En la actualidad el crecimiento acelerado de la población tanto urbana como rural, y la construcción de nuevas vías de circulación ha generado el aumento de la demanda de consumo energético en este sector, que requieren de un servicio eficiente en el flujo peatonal como vehicular.

El crecimiento tecnológico en el desarrollo de fuentes de luz causo un progreso sustancial en el alumbrado público en beneficio de la comunidad. En particular, el excesivo gasto de energía en la iluminación urbana, ha adquirido una importancia significativa en el equilibrio energético y económico de varias ciudades, dados los importantes ahorros de energía que se pueden lograr en este sector [1]. Con el transcurso del tiempo en el alumbrado público, el consumo elevado de energía, esta alrededor del 3.19 % de la generación de electricidad a nivel mundial se utiliza para iluminación [2]. Es alarmante esta cantidad, ya que supera la producción de todas las centrales hidroeléctricas o nucleares a nivel mundial, y este porcentaje es igual a la producción de gas natural [2].

Con respecto a la iluminación exterior específicamente el consumo eléctrico es un rubro muy importante, en donde los aspectos técnicos ligeros, estéticos, energéticos, y económicos deben ser analizados juntos, siendo importante el nivel de iluminación en el pavimento y el tráfico en la calzada [3].

Actualmente, el alumbrado público en un gran porcentaje en las ciudades utilizan tecnología VSAP, (vapor de sodio de alta presión). Estas suministran la mayor cantidad

de iluminación fotográfica para reducir el consumo de electricidad [4]. El análisis de los sistemas de alumbrado público tiene como objetivo fundamental, conocer las condiciones básicas de iluminación en calles, avenidas, vehículos y en espacios públicos, para poder perfeccionar las actividades acordes a cada lugar, con una iluminación adecuada [5].

Uno de los inconvenientes, es la falta de mantenimiento preventivo en los sistemas de alumbrado público, la reposición de lámparas reduciendo las pérdidas económicas y técnicas [6]. Al reemplazar por sistemas modernos y más eficientes, como los que utilizan la tecnología de regulación, las facturas de energía se pueden reducir drásticamente, y las emisiones de carbono se reducen al mínimo. Con la optimización del sistema de alumbrado público, se garantiza eficiencia energética, minimización de costos, de luminarias, de mantenimiento, de reposición, de la red eléctrica. [7].

El sistema por lo general empiezan su funcionamiento en el pico de demanda de energía eléctrica aproximadamente a las 18:00, por este motivo la reducción de la potencia lumínica pública contribuirá a mejorar el factor de carga del sistema eléctrico [8]. La activación del alumbrado usualmente se realiza por foto controles, en forma individual o generando un control múltiple, por medio de la utilización de un interruptor automático.

En el alumbrado público en los últimos años, se ha implementado la tecnología LED (diodo emisor de luz), la cual presenta varias ventajas como un mayor tiempo de vida útil, emisión reducida de calor, variedad de colores, bajo consumo de energía, y sobretodo no contiene mercurio (componente nocivo para el medio ambiente) [9].

En esta investigación en su primera parte se desarrolla la introducción del tema en mención. La segunda parte se establece el estado del arte del alumbrado público el cual analiza la descripción conceptual de este tema

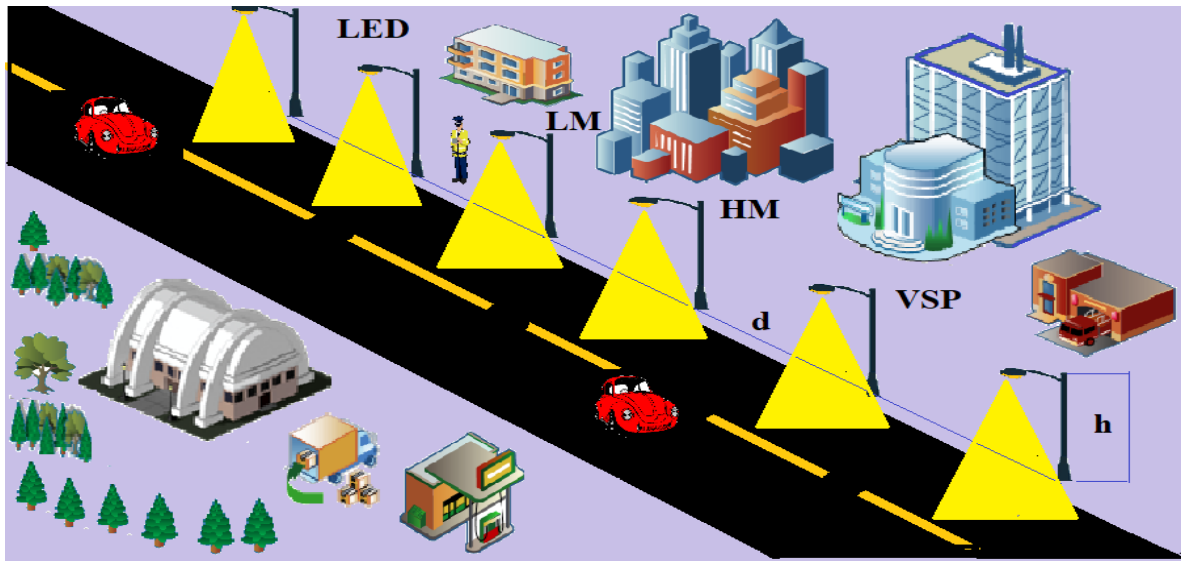


Figura 1. Tecnologías de Iluminación de Calzada.

así como los tipos de lámparas y luminarias empleadas, como tablas comparativas de costos y eficiencias de lámparas que se usan en el alumbrado público, y se realiza un análisis los métodos de optimización y software utilizados.

La tercera parte analiza la técnica matemática, en este caso una programación lineal entera mixta en que se proyecta la descripción teórica del pseudocódigo.

En la cuarta parte se indaga el caso de estudio empleado en un determinado sector.

En la quinta parte se realiza el análisis de resultados del algoritmo optimizado. En la sexta parte se trata sobre las conclusiones del tema y trabajos a futuro.

2. Estado Del Arte.

El alumbrado público es un asunto de particular interés en el mundo, por el excesivo presupuesto económico y energético, el uso apropiado en un ambiente confortable, garantiza protección a conductores como a transeúntes [10].

Su eficiencia energética se demuestra, en escenarios donde una mínima cantidad de electricidad proporciona los mismos criterios de rendimiento de iluminación con estándares de confort visual [11].

Para alcanzar la eficiencia energética de forma sistemática, es necesaria la aplicación adecuada de un conjunto de conocimientos y métodos para garantizar excelentes resultados de esta práctica. Además se debe implementar una tecnología y se aplican a los medios de trabajo, recursos humanos, procesos y métodos de gestión, control y planificación [12].

El avance de la tecnología en todos los campos de la industria, no ha sido excepción en el desarrollo de las lámparas de iluminación para el alumbrado público, la implementación y reemplazo por las antiguas tecnologías ha mejorado la eficiencia, tanto en luminancia como en la reducción de costos en las tarifas de consumo eléctrico.

Se proyecta que los sistemas de iluminación artificial representan un gran potencial para ahorrar energía eléctrica, alrededor del 30% de toda la energía eléctrica generada en el mundo se utiliza para producir iluminación artificial [13]. Entre ellas están las diferentes tecnologías que mejoran la iluminación en forma eficiente y confiable.

La eficiencia luminosa de las lámparas para alumbrado público, no solo se estima en términos de luz emitida por vatio de energía eléctrica consumida, se considera también en la reproducción de colores de acuerdo a las

funciones para las cuales se aplique el alumbrado [14]. El alumbrado está relacionado con el diseño, de las diferentes clases de iluminación las que determinan el flujo luminoso de las lámparas y entre otras características técnicas relacionadas con la iluminación de calzadas, parques, plazas [15]. Además se ha señalado como un sector de consumo de energía elevada, y que se puede lograr ahorros significativos en ambas direcciones debido a la introducción de nuevas fuentes de luz económicas y eficientes [16].

2.1. Alumbrado Público.

El alumbrado público es una de las más importantes características de una ciudad, ya que en las vías, parques y centros urbanos, en donde se permita desarrollar actividades nocturnas y estas sean más seguras para el transeunte o usuario [17].

El objetivo primordial del alumbrado público es proporcionar una iluminación eficiente y benevola con el ambiente, que permita desarrollar las actividades habituales de las personas. Los estudios demuestran que un eficiente alumbrado público, reduce los índices de delincuencia en un 20% en los lugares públicos [18].

Lo importante para los proyectos de alumbrado público, es fundamental obtener las interdistancias óptimas entre postes, y conocer el tipo de luminaria a instalar, y sus características fotométricas como flujo luminoso, potencia, vida útil y costos de la tecnología a implementar.

2.2.1. Lámparas.

Las lámparas son la fuente de luz, encargada de proporcionar iluminación por medio de una luminaria a una determina área o sector. Las lámparas utilizadas en el alumbrado público puede ser clasificadas de acuerdo al lugar de instalación, tipo de tecnología, la vida útil, potencia, rendimiento y su utilización como:

Iluminación de las vías de circulación, iluminación de las vías subsidiarias e iluminación de los centros urbanos y zonas de recreación [18]. La eficiencia energética de las lámparas no solo se mide en función de luz emitida por vatio de energía eléctrica consumida sino también en la reproducción de colores emitidas por esta, de acuerdo a las funciones para las cuales se aplique la iluminación [14].

En la tabla 1 se observa los diferentes tipos de lámparas utilizadas en el diseño de iluminación de acuerdo a su eficiencia luminosa y tiempo de duración en horas [6].

Tabla 1: Eficiencia de Lámparas y Tiempo de Vida Útil [9].

Tipo de Tecnología	Lúmenes por watt	Vida Útil de lámparas (horas)
Incandescente	8- 26	1000- 2000
Fluorescente	60-400	10000 24000
VSAP	45-110	10000 28000
VSBP	80-180	10000 20000
VMAP	60-100	6000 14000
Haluro Metálico (HM)	60-600	8000 16000
Luz Mezcla (LM)	20-60	3000 6000
LED	28-79	25000 100000

2.2.2. Luminarias.

Las luminarias son los módulos cuyas características eléctricas y mecánicas se encuentran los elementos esenciales que contribuyen a la creación de la luminiscencia de una fuente de luz [19] [20].

Las disposición fotométrica de estas, se proyecta a obtener una alta eficiencia energética en el sector designado sea aviaro o ambiental. Su diseño e instalación está destinado a ubicarlos en columnas, postes

metálicos u otros materiales, en donde estas deberán ser ancladas o suspendidas, a lo largo de una vía, plazas, parques [22].

2.3. Análisis Comparativo de Eficiencia y Costos por Tipo de Luminaria.

La siguiente tabla se observa las diferentes lámparas de iluminación utilizadas en el alumbrado público.

Tabla 2: Eficiencia y Costo de Lámparas de Alumbrado Público.

LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO				
Potencia	Flujo (Lm)	Eficacia (Lm/W)	Vida Útil	Costo
100	10700	107	28700	31
150	18000	117	32000	33
250	33000	130	36000	35
400	58400	138	36000	35
LAMPARAS DE HALUROS METALICOS				
150	8500	81,7	10000	77
250	20500	82	10000	154
400	36000	90	16000	175
1000	71000	110	120000	350
LAMPARAS DE LUZ MEZCLA				
100	1100	11	6000	7
160	3150	20	6000	15
250	5000	25	6000	29
500	5500	30	10000	74
LAMPARAS LED				
60	6600	110	50000	180
90	9900	110	50000	270
150	16500	110	50000	410
220	24200	110	50000	600

Debido a los importantes roles de las luminarias en nuestra vida diaria, mantener sus operaciones nos otorgan una elevada carga financiera y ambiental [23]. Las lámparas su valor se relaciona con el modelo, la emisión del flujo luminoso, la eficacia, vida útil, y la emisión de colores en la zona que va iluminar [24].

2.4. Descripción de los Métodos de Optimización para Alumbrado Público.

La optimización consiste en la búsqueda de la mejor solución posible, entre las demás alternativas posibles [25]. Dependiendo de las técnicas utilizadas para un proceso de optimización se necesita especificar:

-Función Objetivo, es la acción de cuantificar cantidades para obtener de un sistema de ecuaciones resultados máximos o mínimos, con ciertas restricciones [25]. Este es un mecanismo empleado para resolver los costos exactos de las variables de decisión que solucionan el problema de optimización.

-Variables, simbolizan las medidas que se deben optar para cambiar la cantidad de la función objetivo. Por lo general son variables dependientes o independientes.

-Restricciones son las que disponen las variables independientes, a continuación se formulan, mediante ecuaciones o inecuaciones las semejanzas existentes entre las variables de decisión. Estas semejanzas corresponden, a las condiciones en el sistema.

2.4.1. Programación Lineal Entera Mixta.

En este análisis se emplea la técnica matemática que crea una infinidad de soluciones aplicadas a un algoritmo de optimización en que puede utilizar variables enteras o variables continuas [26]. Las restricciones o limitaciones están sujetas, a un sin número de posibilidades de arreglo entre las variables para obtener una solución adecuada al problema propuesto [27].

$$\text{Minimizar } z(x) = \sum_{j=1}^n -C_j * X_j \quad (1)$$

Sujeto a

$$g_i(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij} * X_j \leq b_i \text{ donde } i = 1 \dots m$$

$$X_j \geq 0 \text{ donde } j = 1 \dots n$$

Esta técnicas es flexible, en el sentido que nos permite resolver un sin número de problemas con éxito.

2.5. Métodos de Cálculo para el Alumbrado Público.

2.5.1. Método de Cálculo para definir el Factor de Utilización.

El factor de utilización está definido por el rendimiento de las luminarias, y la distribución de estas a lo largo de la instalación en una calzada, y las características de las dimensiones del área a iluminar [28].

$$fu = \frac{\phi_{util}}{\phi_{lampara}} > 0.25 \quad (3)$$

Donde:

fu = Factor de utilización

ϕ_{util} = Flujo útil, el que ilumina la superficie deseada (lúmenes)

$\phi_{Lámpara}$ = Flujo de la lámpara (lúmenes)

-Ecuación de la Utilancia (U)

$$U = \frac{Fu}{n} \quad (4)$$

Donde:

U = Ecuación de utilancia

Fu = Factor de utilización (/)

n = Rendimiento determinado por la luminaria y la lámpara (/)

-Rendimiento(n):

$$n = \frac{\phi_{luminaria}}{\phi_{lampara}} \quad (5)$$

Donde:

n = Rendimiento

$\Phi_{luminaria}$ = Flujo de la luminaria (lúmenes)

$\Phi_{lámpara}$ = Flujo de la lámpara (lúmenes)

2.5.2. Método del Flujo Luminoso.

Este método está basado en la fórmula matemática de la iluminancia media y analiza

el flujo que irradia una lámpara en una calzada [29].

$$Em = \frac{n \cdot fm \cdot \phi L}{A \cdot d} \quad (6)$$

Donde:

Em = Iluminancia media

n = Rendimiento

fm = Factor de mantenimiento

ϕL = Flujo luminoso

A = Ancho de calzada

d = distancia entre postes

En la gráfica se detalla la obtención del flujo luminoso en donde $K1$ se obtiene de la división del ancho la calzada (A), sobre la altura del poste de la luminaria (H), y $K2$ se obtiene al dividir el ancho de la acera sobre la altura del poste de la luminaria [30].

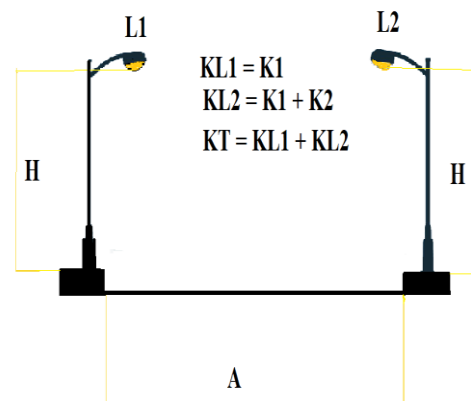


Figura 2. Obtención del Coeficiente de Utilización y Flujo Luminoso [29].

En la siguiente tabla se detalla el nivel de iluminancia media, estos valores obedecen a la clase de vía, clase de pavimento, severidad del tráfico, etc.

Tabla 3: Tipo de Vía y Niveles de Iluminancia Media[31].

Tipo de vía	Iluminancia media (Lux)
A	35
B	35
C	30

D	28
E	25

2.5.3. Método de Cálculo para definir la Cantidad de Luminarias.

$$N = \frac{L}{D} + 1 \quad (7)$$

Donde:

N = Cantidad de luminarias

L = Largo de vía a iluminar

H = Altura del punto de luz con respecto a la calzada.

R = relación separación/ altura

$D = R \times H$ separación entre los puntos de L

La siguiente tabla permite seleccionar el tipo de lámpara, altura de montaje sugerido en cada intervalo, sin superar el flujo máximo.

Tabla 4: Altura de Postes y Flujo Luminoso de Lámparas [31].

Altura de poste (m)	Flujo de luminoso (Lm)
6 – 8	3000 a 10000
8 – 10	10000 a 20000
10 -12	20000 a 40000
12 -14	40000

2.5.4. Método de Cálculo de los Nueve Puntos.

Este método por medio de cálculos matemáticos se obtiene la iluminancia media, aplicado en determinadas zonas de iluminación como calzadas o espacios libres de circulación. En la gráfica se proyecta un rectángulo en la vía, en el cual intervienen la interdistancia entre luminarias ($S/2$), y el ancho de la vía (W), de esta manera imaginariamente el esquema se fracciona en porciones iguales, y cada vértice constituyen los puntos a calcular en donde se les asigna valores de 1, 0.5, 0.25 correspondiente a cada punto central, intermedio y extremo [29] [32].

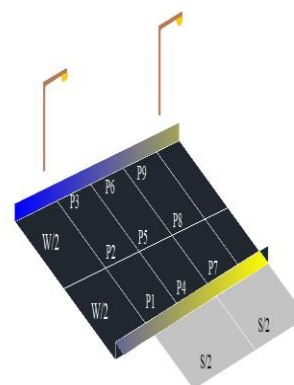


Figura 3. Método de los 9 Puntos [29].

2.6. Análisis de Software utilizados para la Optimización del Alumbrado Público.

2.6.1. Software Matlab.

En este estudio se emplea Matlab, es programa técnico computacional posee un escenario interactivo que se aplica en la visualización, el desarrollo de algoritmos, computación numérica y análisis de datos [33]. Al utilizar la caja de herramientas de optimización, nos provee algoritmos para resolver diferentes tipos de problemas de optimización, con restricciones o sin ellas; los cuales incluyen en la programación lineal entera mixta, la que minimiza los costos de luminarias en el alumbrado público, en las que se incluye las variables para realizar los cálculos respectivos como: la altura, distancia, cantidad de postes, tipo de luminarias a utilizar, en una determinada localidad.

El algoritmo emplea la función intlinprog que muestra un conjunto de límites superior e inferior en las variables del proyecto, de tal modo que la solución siempre está en el rango $lb \leq x \leq ub$.

- lb , ub : son los límites superior e inferior del área donde se espera encontrar el punto óptimo [33].

- Las limitaciones constituyen una desigualdad, en la matriz (A), y un vector (b) en una inecuaciones determinada [33].

- Las variables A_{eq} , b_{eq} , se determina que pertenecen a las ecuaciones de un sistema.

- f: es la magnitud de factores de la función objetivo, establecido según las variables [33]. El algoritmo fue creado como un minimizador, y precisa de una función objetivo para minimizar. Por lo consiguiente un algoritmo de optimización debe transformarse en un algoritmo de minimización multiplicado por -1 para poder involucrarse a la solución de este solucionador [34].

2.6.2. Análisis de Datos.

En el desarrollo del algoritmo se utiliza a Excel como una herramienta útil para el análisis estadístico y el ingreso de un conjunto de datos, como son ancho de la calzada, ancho del foco, costos de energía, intervalo de tiempo, distancia de vía, tipo y disposición de vía, el cual tabula entre los diferentes tipos de lámparas, potencia, flujo luminoso, vida útil, costos de luminarias, costos de lámparas, costos de reposición, mantenimiento, de red y de energía eléctrica, el cual nos da un costo total de cada tipo de luminaria. Esta hoja de cálculo es citada por Matlab por medio del archivo cálculo de costos.xlsx. Los resultados son emitidos por Matlab al seleccionar el tipo de lámpara a utilizar en la calzada de una determinada localidad.

2.6.3. Comprobación de Resultados.

En el análisis del algoritmo se utiliza el programa Dialux, el cual nos permite simular la iluminación dentro y fuera de un ambiente, calcula y comprueba de manera profesional todos los parámetros para las instalaciones de iluminación, como son la ubicación, distancias, flujo luminoso, luminancia e iluminancia media, de luminarias en : carreteras, calzadas, plazas parques, centros

urbanos obteniendo soluciones transparentes y precisas, porque sus cálculos son de punto a punto según las últimas normativas del sector. Al comprobar resultados con el algoritmo desarrollado en Matlab son similares los datos de distancias, altura de luminarias, flujo luminoso, sin embargo Dialux, no calcula los costos mínimos de luminarias empleadas en un proyecto de iluminación a un determinado intervalo de tiempo, y en diversos escenarios.

2.7. Métricas de la Revisión Bibliográfica en Alumbrado Público.

Toda información bibliográfica obtenida muestra gráficamente, la tendencia de las diferentes temáticas utilizadas en el alumbrado público.

2.7.1. Software Utilizados para la Optimización del Alumbrado Público.

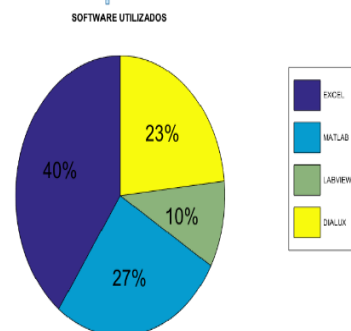


Figura 4. Software Utilizado en Alumbrado Público.

De todos los documentos analizados en esta investigación el software más utilizados en el alumbrado público es Excel con el 40 %, debido a que su manejo es amigable con el usuario y tiene la facilidad realizar cálculos y organizar datos, en las empresas eléctricas destinadas al desarrollo del alumbrado público.

El software Matlab con el 27 %, de aplicaciones en la implementación de algoritmos de optimización, ya sea en la minimización de costos, eficiencia energética,

generación, distribución de energía eléctrica, además permite la creación de interfaces de usuarios y la comunicación con otros lenguajes y otros dispositivos hardware. En la mayoría de aplicaciones de algoritmos de optimización, para alumbrado público, Matlab utiliza a otro software como herramienta para ingreso de datos y de esta manera facilitar su programación.

El software Dialux con el 23 %, es utilizado para el cálculo de iluminación lo realiza de punto a punto, según la normativa de la zona de estudio.

Con el 10%, la aplicación de Labview es utilizado especialmente para el control y monitoreo de los sistemas de alumbrado público, por medio del sistema scada.

2.7.2. Función Objetivo empleado en el Alumbrado Público.

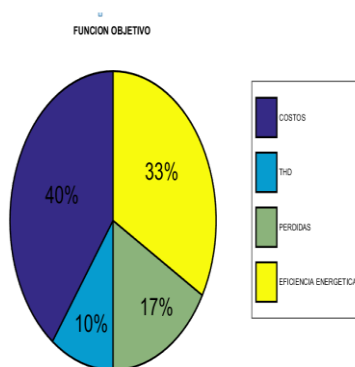


Figura 5. Función Objetivo para el Alumbrado Público.

De igual forma de toda la bibliografía investigada, la mayor parte del análisis de la función objetivo, esta destinada a la optimización de los costos sean estos totales o minimos, por esta razón los costos tiene el 40 %, de aplicación en el alumbrado público.

Con el 33 %, el estudio de la función objetivo esta designada a la eficiencia energética, que se refiere al reajuste de la intensidad energética y la conservación del entorno. La preservación del medio ambiente

esta vinculado a reducir los gases de contaminación en la atmosfera [35].

Con el 17 %, la función objetivo se refiere a las perdidas, tanto en los balastos de las luminarias como en la distribución del sistema de alumbrado público.

El 10%, corresponde a la distorsion total armonica (THD), que se refiere a los armonicos de corriente que son muy perjudiciales al sistema eléctrico, y por lo tanto disminuye la vida útil de las luminarias del sistema de alumbrado público.

2.7.3. Lámparas Utilizadas en el Alumbrado Público.

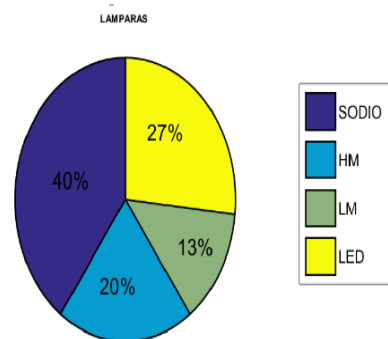


Figura 6. Lámparas Utilizadas en el Alumbrado Público.

Las lámparas o fuentes de luz de VSAP son utilizadas con un 40 %, debido a sus bajos costos, su vida útil, y su rendimiento que proporciona gran cantidad de lúmenes por vatio.

A continuación las lámparas LED, con el 27 %, son una buena alternativa para reemplazar las lámparas ineficientes de vetusta tecnología, entre sus ventajas tenemos que son más eficientes por su largo tiempo de vida y el flujo luminoso, pero su costo es muy elevado con respecto a las otras tecnologías de iluminación.

Los haluros metálicos con el 27 %, se usan por su buena reproducción de luz y su alta potencia, reemplazaron a las lámparas de mercurio que ya no se utilizan por sus emisiones peligrosas de gases nocivos. Con el 13% las lámparas de luz mixta, se utilizan en

lugares de poco tráfico como plazas, parques, parqueaderos etc.

2.7.4. Técnicas Matemáticas Utilizadas en el Alumbrado Público.

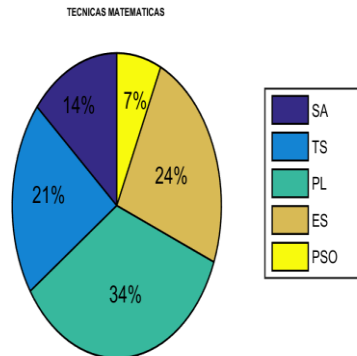


Figura 7. Técnicas Matemáticas para el Alumbrado Público.

Las técnicas matemáticas empleadas en el alumbrado público, y analizadas en la revisión bibliográfica son varias entre las cuales tenemos las siguientes: Programación lineal con el 34 %, la que se basa en un modelo matemático para obtener el mejor resultado representado por una relación lineal, es utilizada por su eficacia y rapidez.

La búsqueda exhaustiva con el 24 %, por lo general recorre un árbol por el cual busca las posibles soluciones de un problema.

Tabu search con el 21 %, es un método metaheurístico que ejecuta una búsqueda agresiva del óptimo problema.

Simulated Annealing con el 14%, es otro método metaheurístico que resuelve una gran variedad de problemas de optimización combinatoria.

El 7%, corresponde al PSO (optimización por enjambre de partículas), es una técnica de optimización y búsqueda que utiliza el espacio bidimensional.

3. Técnica Matemática.

3.1 Descripción Teórica.

El cálculo matemático se basa en el método del flujo luminoso (lm) de las lámparas empleadas en este análisis. La función

objetivo es establecer el mínimo costo, tanto energético como económico en el alumbrado público, adicionalmente se establece la cantidad de postes y luminarias y su altura óptima.

$$FO = \text{Min} \sum_{i=1}^n Clum + Crep + Cmant + Cred \quad (8)$$

Donde:

FO = Función objetivo

$Clum$ = Costo de luminaria

$Crep$ = Costo de reposición

$Cmant$ = Costo de mantenimientos

$Cred$ = Costo de la redes eléctricas

Para implementar este algoritmo el ingreso de datos se lo realiza en Excel, y a continuación en el entorno Matlab se desarrolla la programación lineal entera mixta, por lo que en primera instancia se determinan los costos de las luminarias considerando:

*Costos propios de la luminaria

*Costos de reposición.- este se considera el costo de reposición en base de 1 año. Esto permite determinar el costo de reposición en función de la vida útil del equipo

*Costos de mantenimiento.- de acuerdo a las prácticas industriales se considera un valor de 2,5% del costo de la luminaria por año.

*Costo de energía eléctrica.- de igual manera se considera el valor por año con el costo de la energía eléctrica de \$ 0.097 kWh.

En el archivo de Excel se encuentra la hoja “Cálculo Costos”, en donde se tabulan todos los costos definidos anteriormente.

Posteriormente el entorno de Matlab, lee la información de la hoja costos con el fin de tener disponible los datos en la plataforma Matlab como la potencia, flujo luminoso, vida útil, y costos totales. Adicionalmente lee la información de ancho de la calzada, ancho de la vía, costo de energía eléctrica, distancia de la vía, tipo de la vía y disposición de tipo de vía.

El tipo de vía puede seleccionarse automáticamente como: A, B, C, D, E.

La disposición de la vía puede ser seleccionada con la siguiente información:

- *Tresbolillo
- *Pareada
- *Unilateral
- *Centrada

El usuario en la hoja de Costos puede seleccionar:

- Ancho de la calzada
- Ancho del foco
- Costo de Energía Eléctrica
- Intervalo de tiempo
- Distancia de la vía

El programa Matlab cuenta con dos scripts

*Luminarias.- este scripts lee la información de costos, calcula la distancia de las luminarias, el área de iluminación, la eficiencia energética, el número de luminarias y el costo total del proyecto.

$$d = \frac{fu * fm}{Em * A} \quad (9)$$

Donde:

- d = Distancia entre postes
- fu = Factor de utilización
- fm = Factor de mantenimiento (0.7)
- Em = Iluminancia media
- A = Ancho de la calzada

$$E = \frac{S * Em}{W} \quad (10)$$

Donde:

- E = Eficiencia energética
- S = Superficie iluminada (m^2)
- Em = Iluminancia media
- W = Potencia instalada (vatios)

$$N_{luminarias} = \frac{Distancia\ via}{d} \quad (11)$$

Donde:

- $N_{luminarias}$ = Número de luminarias
- $Distancia\ de\ la\ vía$ = (metros lineales)
- d = Distancia entre postes

$$f = Costo\ total \quad (12)$$

Donde:

$Costo\ total$ = Función objetivo

Matlab para optimizar el proyecto emplea la función 'intlinprog' que es la abreviatura de programación lineal entera mixta en el contexto [34]. Este algoritmo está destinado a ser un minimizador y solicita una función objetiva para minimizar y resuelve la incógnita x ($intcon$) en el programa.

En donde los vectores, y las variables A y Aeq son matrices de la función. Adicionalmente se procede a graficar el Costo Total, la distancia entre luminarias, la eficiencia energética y el número de luminarias.

*Const.- Este scripts lee la información de ancho de la calzada, ancho del foco y distancia de la vía. Procede a calcular el valor de la variable $conllu$ que está relacionado con la distancia y la altura de las luminarias, y el tipo de vía. Se calcula el factor de utilización mediante una función realizada por interpolación de los datos de las gráficas, esto con el fin de tener un programa automático.

3.2. Algoritmo.

Algoritmo 1: Algoritmo para cálculo de luminarias para alumbrado público.

Algoritmo para cálculo de luminarias para alumbrado publico

Paso 1:

Definir variables de entrada

($w, \phi, m, f, t, fm, Em, h, A, d, fu, Em, N, x, Aeq, beq, lb, ub, S, P, E, Datos, Costo\ unitario, Costo\ total, Ancho\ calzada, Ancho\ foco, Costo\ energía, Distancia\ vía, Tipo\ de\ vía, Disposición\ vía$)

Paso 2:

Inicializar variables

Si $t = (5, 10, 15, 20, \dots, n)$

Entonces

Hacer $Tipo\ de\ vía = (A, B, C, D, E)$

Si $Distancia\ vía = (1, 2, 3, \dots, n)$

Hacer $Ancho\ calzada = (1, 2, 3, 4, 5, \dots, n)$

Entonces

Hacer $Costo\ de\ energía = 0,097$

Si $Disposición\ vía = (tres\ bolillos)$

Paso 3

Calcular f_u (factor de utilización)

$$k1 = A1/h$$

$$k2 = A2/h$$

$$f_u = k1 + k2$$

Paso 4

Calcular d (distancia)

$$d = \frac{f_u * f_m}{E_m * A}$$

Paso 5

Calcular E (eficiencia energética)

$$E = \frac{S * E_m}{W}$$

Paso 6

Calcular N (luminarias)

$$N_{luminarias} = \text{Distancia vía} / d$$

Paso 7

Calcular costo proyecto

$$\text{Costo unitario} = \text{Datos} * (\text{Costo Total})$$

Paso 8

Calcular ϕ (flujo luminoso)

$$\Phi = \text{Datos} * (W)$$

Paso 9

Calcular f (función de costos)

$$f = \text{Costo total}$$

$$x(\text{intcon})$$

Paso 10

Calcular generación de restricciones

$$A = \text{flujo luminoso}$$

$$b = -1 / \text{Datos} (W)$$

Paso 11

Calcular generación de restricciones de igualdad

$$A_{eq} = \text{ones} \quad (\text{matriz})$$

$$b_{eq} = 1$$

Paso 12

Calcular límites de restricciones

$$lb = (\text{intcon}, W)$$

$$ub = \text{one} (W, \text{intcon})$$

Paso 13

Resuelve intlinpro (llamamos restricciones)

fin comparar

Paso 14

$$\text{Salidas} = [\text{costo total}, d, E, N_{luminarias}, \phi, h, E_m]$$

Repetir

Paso 15

Fin algoritmo

4. Caso de Estudio.

Figura 8. Zona del Caso de Estudio.

El caso de estudio del sistema de alumbrado público, está situado en el norte de Quito, entre las calles Eloy Alfaro, los Pinos y Fresnos. La longitud total de esta zona de estudio es de 250 metros entre otros parámetros tenemos: en la avenida en mención posee dos carriles, el ancho de la calzada es de 9 metros en cada carril y cuenta con un parterre central. Se aplica cuatro escenarios en diversos intervalos de tiempo de 5, 10, 15, 20 años, tipos de vía A, B, C, D, E, la disposición de las luminarias como son: unilateral, tres bolillos, pareada y centrada para conocer la cantidad y altura de postes, cantidad de luminarias a utilizar, la eficiencia energética y el mínimo costo entre las tecnologías de iluminación empleadas en el alumbrado público.

Esto se ha hecho diseñando la carretera con cuatro tipos de lámparas como: sodio de alta presión, halogenuro metálico, luz mixta y lámparas LED. En el cálculo, se asume que las horas de trabajo de la iluminación son 12 horas al día desde las 6 p.m. hasta las 6 a.m., los siete días de la semana.

El precio del poste de luz se considera igual para los cuatro escenarios, y se incluye en el

cálculo. El arancel del consumo de energía para aplicaciones de área pública, en la ciudad de Quito para alumbrado público es de \$ 0,097 dólares de los Estados Unidos por unidad de energía (kWh) consumida.

4.1. Tipos de Disposición del Alumbrado Público.

4.1.1. Disposición Unilateral.

En este tipo de disposición las luminarias se instalan en un solo sentido de la calzada.

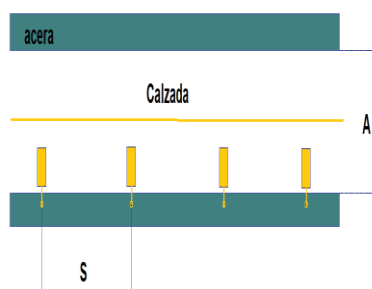


Figura 9. Disposición Unilateral.

4.1.2. Disposición Pareada.

Esta disposición consiste en colocar las luminarias a los dos lados de la vía, es decir en una situación frontal.

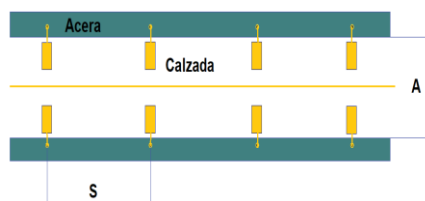


Figura 10. Disposición Pareada.

4.1.3. Disposición Tresbolillo.

Cuando las luminarias se sitúan de manera alternada o en zigzag, a ambos lados de la calzada.

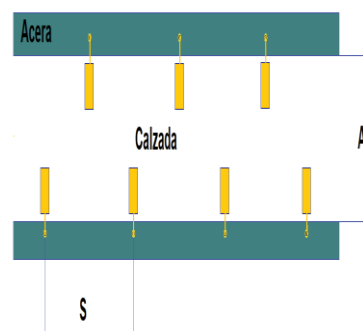


Figura 11. Disposición Tresbolillo.

4.1.4. Disposición Central.

Esta disposición se emplea cuando el poste, se encuentra ubicado en el centro de la calzada, y este se divide en dos o más luminarias dependiendo de las necesidades de iluminación del sector.

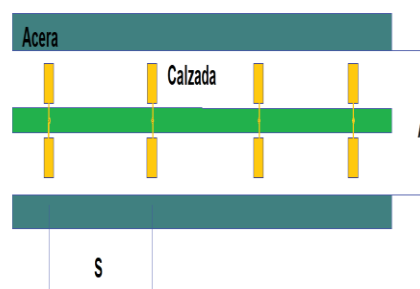


Figura 12. Disposición Central.

5. Análisis de Resultados.

Los resultados obtenidos por el algoritmo de optimización, nos permite comparar los costos mínimos de las diferentes tecnologías de iluminación, la eficiencia energética, y el tipo de lámpara seleccionada, estas son determinadas por los tipos de vía, y un intervalo de tiempo de 5, 10, 15, 20 años. El

análisis de resultados, se lo realiza con la disposición tres bolillos, el cual es el caso de estudio preestablecido.

La presente tabla hace referencia a cada tipo de lámpara y a la potencia de cada una de ellas, estas son representadas por un número arábigo, el cual servirá como guía para interpretar las gráficas de los diferentes escenarios.

Tabla 5: Simbología de los Tipos de Tecnologías

Número	Tipo de lámpara	Potencia
1	Lámpara Vapor de Sodio	100 W
2	Lámpara Vapor de Sodio	150 W
3	Lámpara Vapor de Sodio	250 W
4	Lámpara Vapor de Sodio	400 W
5	Lámpara Aditivas (HM)	150 W
6	Lámpara Aditivas (HM)	250 W
7	Lámpara Aditivas (HM)	400 W
8	Lámpara Aditivas (HM)	600 W
9	Lámpara Luz Mixta (LM)	160 W
10	Lámpara Luz Mixta (LM)	250 W
11	Lámpara Luz Mixta (LM)	400 W
12	Lámparas LED	90 W
13	Lámparas LED	140 W
14	Lámparas LED	200 W
15	Lámparas LED	240 W

de vapor de sodio (VSP 250 W), cuyo flujo luminoso es de 28000 lúmenes, la distancia entre postes en la vía es de 34,46 metros, y el número de postes y luminarias es de 7 unidades por vía, la altura del poste es de 12 metros, y con una eficiencia energética del 43,42 %.

Los costos totales del proyecto en la zona de estudio están relacionado con el intervalo de tiempo seleccionado.

* 5 años USD\$ 134084;

*10 años USD\$ 268168;

*15 años USD\$ 402250;

*20 años USD\$ 536340.

Se concluye que el costo total a través del tiempo es proporcional, manteniéndose constante con el resto de las variables anteriormente mencionadas.

Las luminarias VSP 250 W es ideal para las vías de alto tráfico como son carreteras y autopistas, su costo es económicamente razonable con respecto a otras tecnologías, además proporciona una gran cantidad de lúmenes por vatio, su color es un amarillo brillante, y proporciona un espectro de emisión con banda ancha lo que evita tener zonas oscuras entre luminarias con una adecuada distancia entre postes, su eficiencia energética al observar la gráfica es menor con respecto a la luminarias LED 240W, la distancias entre postes con respecto a las otras luminarias su longitud es razonable, por lo tanto el número de luminarias es adecuado.

La desventaja de este tipo de lámpara es su flujo luminoso con respecto a los haluros metálicos y la vida útil es menor a las luminarias LED. Los costos de las luminarias con la reposición de estas a través del tiempo no exceden los costos del proyecto o de la zona de estudio, por lo que es rentable el uso de este tipo de luminaria.

5.1. Escenario I.

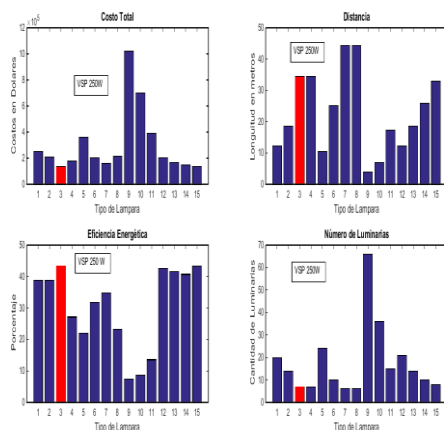


Figura 13. Disposición Tres Bolillos -Vía tipo A.

En el primer escenario, la disposición de las luminarias es tres bolillos, la vía es de tipo A, la lámpara seleccionada por el algoritmo es la

5.2. Escenario II.

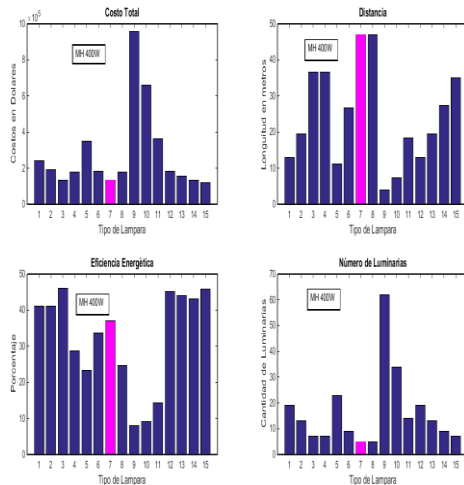


Figura 14. Disposición Tres Bolillos - Vía tipo B.

La disposición de las luminarias es tres bolillos, la vía es de tipo B. El algoritmo selecciona la lámpara de haluro metálico (MH 400W) cuyo flujo luminoso es de 36000 lúmenes, la gráfica nos muestra que la cantidad de 5 postes es menor con respecto a las otras luminarias, y por lo tanto e igual cantidad de lámparas por cada vía, la luminaria de (HM 400W) es ideal para este tipo de vía, su tráfico peatonal y vehicular es moderado, la elevada potencia y la buena reproducción de colores en esta luminaria proporciona una eficiencia luminosa alrededor del 37,01 %, la altura ideal es de 10 metros, y la distancia entre postes es de 47 metros.

El costo total está determinado por el intervalo de tiempo, establecido en la zona de estudio.

- *5 años USD\$ 133490,
- *10 años USD\$ 266970,
- *15 años USD\$ 400460,
- *20 años USD\$ 533940

Los costos de la zona de estudio van en aumento en forma proporcional con el transcurso del tiempo. La diferencia de costos de este tipo de lámpara MH 400W con las otras tecnologías, es ligeramente menor con relación a VSP 250W, y más económico a las lámparas LED 200W y LED 240W.

Lo que influye para la elección de esta luminaria es su elevado flujo luminoso y la menor cantidad de postes.

Lo que se diferencia este tipo de tecnología es la relación a las otras, las distancias entre postes es mayor debido al alto flujo luminoso de esta lámpara y su desventaja es su baja vida útil y su eficiencia energética.

5.3. Escenario III.

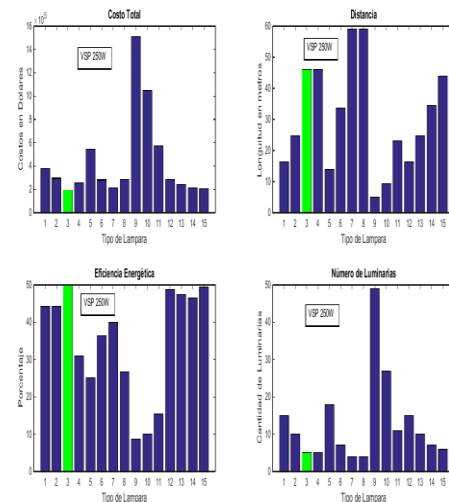


Figura 15. Disposición Tres Bolillos - Vía tipo C.

En este escenario la disposición de las luminarias es tres bolillos, la vía es de tipo C, la lámpara seleccionada por el algoritmo es VSP 250W, la distancia entre postes en la vía es de 45,98 metros, y el número de postes y luminarias es de 5 unidades por vía, la altura del poste a utilizar es de 8 metros, con una eficiencia energética del 49.66% en el área la zona de estudio. El costo mínimo de las luminarias está determinado por el intervalo de tiempo.

- *5 años USD\$ 95774,
- *10 años USD\$ 191550,
- *15 años USD\$ 287320,
- *20 años USD\$ 383100.

La luminaria seleccionada VSP 250W es ideal para calzadas de bajo tráfico vehicular y flujo peatonal para este tipo de vía, su alta eficacia luminosa y aceptable rendimiento en

este tipo de vía, está relacionado con el flujo luminoso y la altura y distancia del poste y sus costos son bajos con respecto a las otras luminarias.

En la gráfica se observa que la luminaria VSP 250W ocupa menos luminarias que la luminaria LED 200W, y sus costos son menores al de la vía tipo B, la eficiencia energética moderada con respecto a las otras tecnologías, lo que supone que el algoritmo escoge a esta luminaria es por la reducida cantidad de postes y luminarias a utilizar en la vía, la distancia entre postes es muy similar a la lámpara de VSP 400W y LED de 240W.

5.4. Escenario IV.

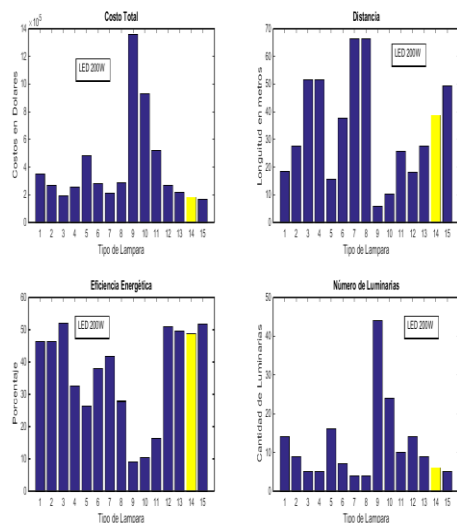


Figura 16. Disposición Tres Bolillos - Vía tipo D.

La vía es de tipo D, la disposición de las luminarias es tres bolillo la lámpara seleccionada por el algoritmo es LED de 200W cuyo flujo luminoso es de 21000 lúmenes, la distancia entre postes en la vía es de 38,66 metros, y el número de postes y luminarias es 6 unidades por cada vía, la altura del poste a utilizar es de 7 metros con una eficiencia energética del 48,71% en la zona de estudio. Los costos totales en un intervalo de tiempo son los siguientes.

*5 años USD\$ 89925,

*10 años USD\$ 179850,

*15 años USD\$ 269770,

*20 años USD\$ 359700

Los costos aumentan proporcionalmente a medida que el tiempo avanza, en la gráfica se observa que los costos de la luminarias LED 240W tiene muy poca diferencia con la LED 200W e incluso la eficiencia es mejor con un 51,81 % con respecto al 48.71 %, el flujo luminoso es superior, la diferencia se encuentra en la distancia entre los postes la LED 240W tiene 49,34 metros y la LED 200W es de 38,66 metros, por esta razón se trata de evitar zonas oscuras entre luminarias lo óptimo son los 38,66 metros, de la LED de 200W e incluso el costo de esta es menor . En la vía tipo D es destinada para transeúntes es decir peatonal de bajo tráfico como aceras, parques, plazas, zonas urbanas, etc.

En este escenario las luminarias LED son adecuadas por sus características cromáticas de luz y por su elevada eficiencia energética, y tiempo de vida útil lo que brinda una excelente iluminación y seguridad a los usuarios de este tipo de vía.

5.5 Resultados de Luminarias.

Los resultados están representados en la siguiente tabla en la que se observa las diversas tipos de tecnologías seleccionadas por el algoritmo de optimización.

Tabla 6. Resultados de Cálculo de Costos de Luminarias.

Cálculo disposición tres bolillos					
Vía tipo A - Intervalo de tiempo 5 años					
Lámpara	Costo	Distancia	Postes	Eficiencia	H
VSP 250	134084	34,36	7	43,20%	12
Vía tipo A - Intervalo de tiempo 10 años					
VSP 250	268168	34,36	7	43,20%	12
Vía tipo A - Intervalo de tiempo 15 años					
VSP 250	402250	34,36	7	43,20%	12
Vía tipo A - Intervalo de tiempo 20 años					
VSP 250	536340	34,36	7	43,20%	12
Cálculo disposición tres bolillos					
Vía tipo B - Intervalo de tiempo 5 años					
Lámpara	Costo	Distancia	Postes	Eficiencia	H
MH 400	133490	47	5	37,01%	10
Vía tipo B - Intervalo de tiempo 10 años					
MH 400	266970	47	5	37,01%	10

Vía tipo B - Intervalo de tiempo 15 años					
MH 400	400460	47	5	37,01%	10
Vía tipo B - Intervalo de tiempo 20 años					
MH 400	533940	47	5	37,01%	10
Cálculo disposición tres bolillos					
Vía tipo C - Intervalo de tiempo 5 años					
Lámpara	Costo	Distancia	Postes	Eficiencia	H
VSP 250	95774	45,98	5	49,66%	8
Vía tipo C - Intervalo de tiempo 10 años					
VSP 250	191550	45,98	5	49,66%	8
Vía tipo C - Intervalo de tiempo 15 años					
VSP 250	287320	45,98	5	49,66%	8
Vía tipo C - Intervalo de tiempo 20 años					
VSP 250	383100	45,98	5	49,66%	8
Cálculo disposición tres bolillos					
Vía tipo D - Intervalo de tiempo 5 años					
Lámpara	Costo	Distancia	Postes	Eficiencia	H
LED200	89925	38,66	6	49,66%	7
Vía tipo D - Intervalo de tiempo 10 años					
LED200	179850	38,66	6	49,66%	7
Vía tipo D - Intervalo de tiempo 15 años					
LED200	269770	38,66	6	49,66%	7
Vía tipo D - Intervalo de tiempo 20 años					
LED200	359700	38,66	6	49,66%	7

6. Conclusiones.

En este estudio, el algoritmo utilizado es capaz de elegir la mejor opción entre varias tecnologías de iluminación, de igual forma establece la eficiencia energética, la altura, la distancia entre poste, y el menor costo del proyecto de la zona de estudio.

En el análisis de los escenarios por el tipo y disposición de vía, en diferentes intervalos de tiempo, la lámpara de vapor de sodio (VSP) resulta la mejor alternativa en las vías de alto y moderado tráfico debido al corto plazo de retorno de inversión y rentabilidad, caso que no ocurre con las luminarias LED ya que su inversión es elevada, y su rentabilidad se recuperaría en un lapso de 30 años aproximadamente.

Los lámparas haluros metálicos son una buena alternativa con respecto a las lámparas (VSAP) en una vía de tipo B, en esta luminaria la ventaja es su elevado flujo luminoso y su alta eficacia luminosa entre 75 – 105 lm/W y su buen rendimiento del color, sin embargo la desventaja de esta es su reducida vida útil de la luminaria y el costo es mayor con respecto a las luminarias de vapor de sodio (VSP).

Las luminarias LED son una buena alternativa emplearlas, en vías peatonal como calles, aceras, parques, plazas, etc. Por su elevada vida útil, se deduce que no existirá reposición de la luminaria en muchos años, con referencia a las otras tecnologías, pero el elevado costo de estas no permite hacer gastos exorbitantes en el reemplazo de luminarias del alumbrado público.

La disposición de las vía, está relacionado con la iluminancia media de las diferentes tecnologías analizadas en este estudio. En relación al tiempo de vida de las lámparas, a más años habrá algunas reposiciones de estas, pero el bajo costo de las lámparas VSAP en relación a las LED, no sobrepasan costo de inversión del proyecto a los 20 años.

7. Referencias.

- [1] R. Carli and M. Dotoli, "Bi-level programming for the energy retrofit planning of street lighting systems," *Proc. 2017 IEEE 14th Int. Conf. Networking, Sens. Control. ICNSC 2017*, 2017.
- [2] U. P. B. S. Bulletin and E. Engineering, "Energy consumption saving solutions based on intelligent street lighting control system," no. January 2011, 2016.
- [3] H. Andrei, C. Cepisca, V. Dogaru-Ulieru, T. Ivanovici, L. Stancu, and P. C. Andrei, "Measurement analysis of an advanced control system for reducing the energy consumption of public street lighting systems," *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, pp. 1–6, 2009.
- [4] S. Pattamavorakun, J. Krohkaew, K. Maneesilp, P. Nilpruek, P. Janseangrat, and K. Boonmee, "Practical database system design production of administration management for energy economization of street and public

- lamps project,” *Proc. 2015 Int. Conf. Sci. Technol. TICST 2015*, pp. 377–380, 2015.
- [5] E. Nefedov, M. Maksimainen, S. Sierla, and P. Flikkema, “Energy Efficient Traffic-Based Street Lighting Automation,” pp. 1718–1723, 2014.
- [6] C. Climático, E. N. La, Z. Marino, C. D. E. La, J. Jara, and H. Jefferson, “Universidad nacional tecnológica de lima sur,” 2017.
- [7] F. J. Nogueira, T. S. Gomide, E. S. Silva, M. F. Braga, and H. A. C. Braga, “Low frequency led driver based on the Cuk converter applied to street lighting luminaires,” *2015 IEEE 13th Brazilian Power Electron. Conf. 1st South. Power Electron. Conf. COBEP/SPEC 2016*, pp. 0–5, 2016.
- [8] E. Energ and T. En, “Alumbrado público.”
- [9] M. H. Sheu, L. H. Chang, S. C. Hsia, and C. Sun, “Intelligent System Design for Variable Color Temperature LED Street Light,” pp. 7–8, 2016.
- [10] M. S. B. Mesa, “Propuesta para la implementación del sistema ‘LED’ para la iluminación en Antioquia,” pp. 1–114, 2009.
- [11] I. Ciobanu, “Analysis on the Possibility of Using Retrofit Solutions for Increasing the Energy Efficiency of Public Lighting Systems,” pp. 0–4, 2016.
- [12] J. Aguila, A; Gonzalez, “Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 12018, 2017.
- [13] F. J. Nogueira, L. A. Vitoi, L. H. Gouveia, C. G. Casagrande, D. P. Pinto, H. A. C. Braga, and I. S. Member, “Street Lighting LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps : Study of Case,” 2014.
- [14] C. Kirschbaum, D. De Luminotécnia, V. Ing, and H. C. Bühler, “Título: Impactos ambientales y sociales del Alumbrado Público Carlos Kirschbaum Departamento de Luminotécnia, Luz y Visión,” 2012.
- [15] “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación.”
- [16] R. Pentiuc, V. Vlad, and S. Pavel, “Street Lighting Power Quality,” no. Epe, pp. 16–18, 2014.
- [17] M. Mahoor, T. A. Najafaabadi, F. R. Salmasi, and S. Member, “A smart street lighting control system for optimization of energy consumption and lamp life,” no. Icee, pp. 1290–1294, 2014.
- [18] S. Alzubaidi and P. K. Soori, “Study on Energy Efficient Street Lighting System Design,” *IEEE Int. Power Eng. Optim. Conf.*, no. June, pp. 291–295, 2012.
- [19] J. A. Caminos, *CRITERIOS DE DISEÑO EN ILUMINACIÓN Y °COLOR*. 2011.
- [20] S. D. E. A. Publico, G. Marcelo, and R. Bolaífos, “Sistema de alumbrado publico’.”
- [21] I. D. E. L. Alumbrado, *Influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta*. 2015.
- [22] E. G. ZALDUMBIDE CEVALLOS, “Plan De Mejoramiento Del Alumbrado Público De Las Principales Avenidas De La Ciudad De Quito Mediante La Sustitución Por Lámparas De Inducción,” 2012.
- [23] S. P. Lau, G. V Merrett, and N. M. White, “Energy-Efficient Street Lighting through Embedded Adaptive Intelligence,” pp. 53–58, 2013.
- [24] M. Fernanda, Q. Calderón, P. Saúl, U. Bambino, V. Hugo, and P. Gavilanes, “Conservación y Administración de la Energía Eléctrica en el Sector de Alumbrado Público de Guayaquil

- Resumen,” no. 1.
- [25] P. Sánchez and P. Linares, “Julián Barquín,” 2010.
- [26] M. Mata-Pérez, “Introducción a la programación lineal y entera Una simple presentación Programación lineal,” pp. 1–8, 2014.
- [27] D. Morillo, L. Moreno, and J. Díaz, “Analytic and Heuristic Methodologies for Solving the Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPS): a Review. Part 2,” *Ing. y Cienc.*, vol. 10, no. 20, pp. 203–227, 2014.
- [28] T. D. E. F. I. N. D. E. Grado and O. D. E. L. Trabajo, “Cálculo luminotécnico del alumbrado público de una calle en zona urbana Índice,” 2016.
- [29] E. El and C. R. Centrosur, “UNIVERSIDAD DE CUENCA.”
- [30] M. Del, S. Del, A. Público, L. Lojano, and F. Orellana, “Universidad de cuenca,” pp. 1–113, 2014.
- [31] N. Bejarano, “Diseño de un Sistema de Generación Eléctrica Solar para la Iluminación Externa del Modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo,” 2006.
- [32] D. Quiñonez and N. David, “Estudio de factibilidad para la implementación de un nuevo sistema de alumbrado público en av. Olmedo de la ciudad de Esmeraldas,” 2018.
- [33] I. Cabezas and J. D. Páez, “Matlab, Toolbox de optimización, Aplicaciones en ciencias económicas \n,” 2010.
- [34] T. Cokyasar, “a Mixed Integer Linear Programming Approach for Developing Salary Administration,” 2016.
- [35] F. Castillo, A. Aguila, and J. González, “Analysis of Stability of Tension and Losses of Electric Power in Distribution Networks with Distributed Generation,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 11, pp. 4491–4498, 2016.

7.1. Estado del Arte

SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO OPTIMO DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PUBLICO BASADO EN MULTIPLES CRITERIOS																																
DATOS					TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA									
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	AUTORES	Citas	Sistemas de Iluminación	Sodio de alta presión	Haluro metálicos	Luz Mezcla	LED	Eficiencia Energética	Minimización de costos	Nuevas técnicas de iluminación	Lámparas y Luminarias empleads en el Alumbrado público	Metodos de Optimización utilizado para alumbrado publico	Eliminación de zonas oscuras en el alumbrado público	Vida Útil de luminarias	Factor de utilizacion	Factor de mantenimiento	Costo de la energía	Metodo del Flujo luminoso	Técnica Matemática	Software Empleados	ALGORITMO	Distancia entre Luminarias	Eficiencia energetica	Flujo Luminoso de lámparas	Altura adecuada dde las luminarias	Analisis de resultados	Costos Totales	Elección de luminaria apropiada		
1	2017	Bi-level programming for the energy retrofit planning of street lighting systems	\cite{Carl2017}	1	☑	☑	☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑			☑	☑	☑	☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	
2	2016	Energy consumption saving solutions based on intelligent street lighting control system	\cite{Popa2016}	35	☑				☑	☑				☑		☑		☑				☑		☑		☑			☑	☑		
3	2009	Measurement analysis of an advanced control system for reducing the energy	\cite{Andre2009}	11		☑				☑					☑	☑				☑		☑	☑	☑	☑		☑		☑		☑	
4	2015	Practical database system design production of administration management for energy	\cite{Pattamavornakun2015}	4	☑		☑			☑	☑	☑		☑				☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑		☑		☑		☑	
5	2014	Energy Efficient Traffic-Based Street Lighting Automation	\cite{Nefedov2016}	10	☑				☑	☑		☑		☑		☑				☑		☑				☑	☑		☑	☑	☑	☑
6	2012	Study on energy efficient street lighting system design	\cite{Alzubaidi2012}	17	☑	☑	☑	☑	☑		☑			☑						☑	☑	☑		☑	☑		☑			☑	☑	☑
7	2016	A Novel Efficient Design of Intelligent Street Lighting Monitoring System Using ZigBee Network of Devices and Sensors on Embedded Internet Technology	\cite{Mishra2016}	5			☑	☑	☑	☑							☑				☑		☑	☑	☑	☑	☑	☑				☑
8	2016	Intelligent System Design for Variable Color Temperature LED Street Light	\cite{Sheu2016}	1	☑	☑			☑	☑		☑	☑			☑		☑			☑			☑		☑			☑			☑
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

7.2. Indicadores del Estado del Arte

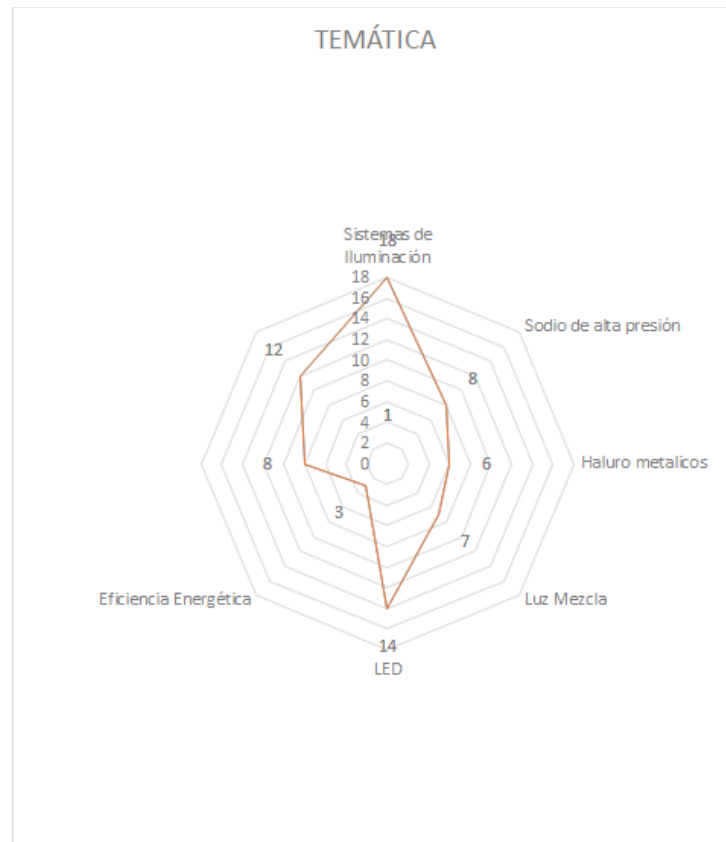


Figura 17. Temática del estado del arte

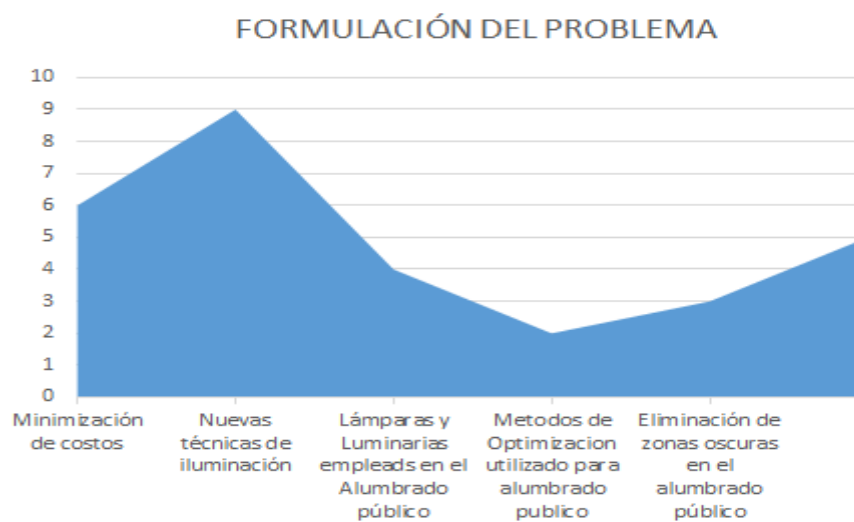


Figura 18.Formulación del problema del estado

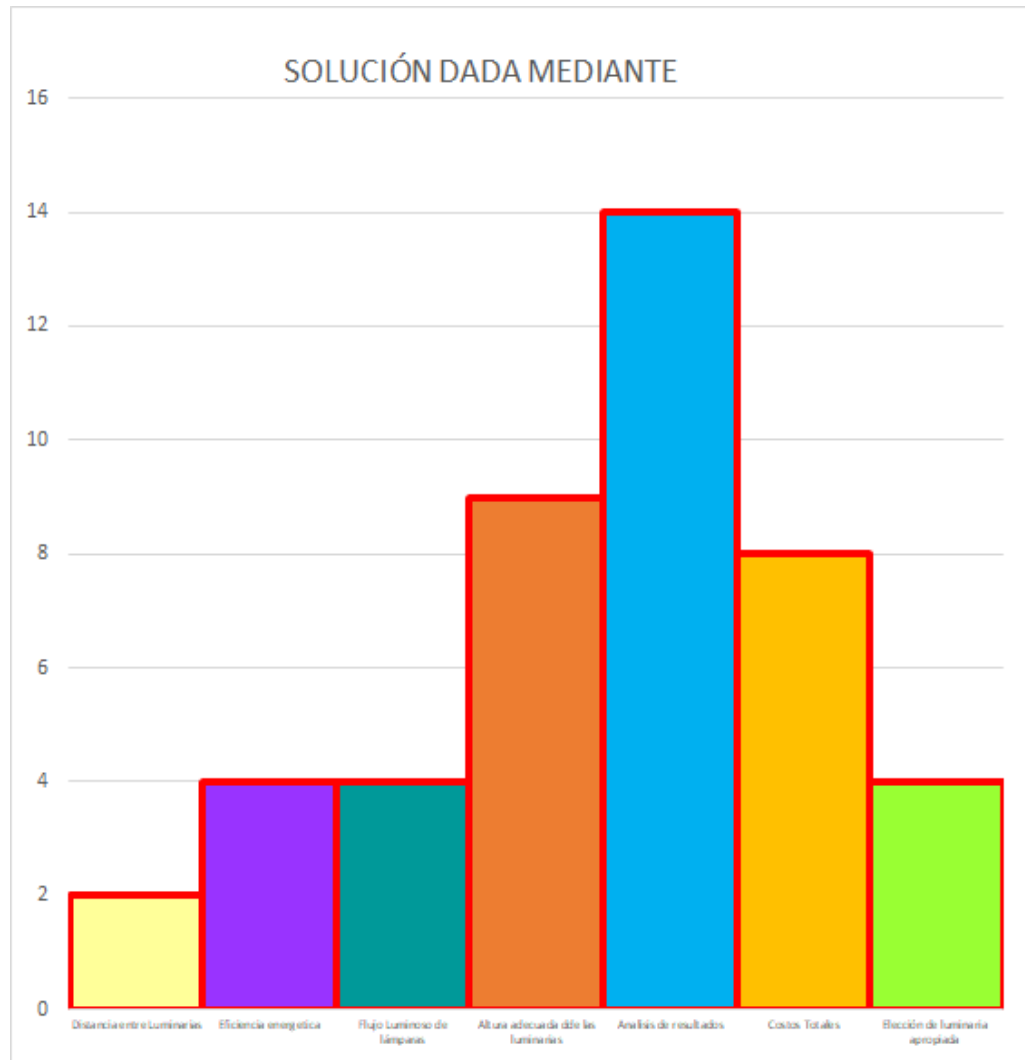


Figura 19.Indicadores del Estado del Arte
Solución Dada

